

DT05 Rec'd PCT/PTO 15 FEB 2005

**JP-A-11-300274**

**Date of Publication of Application: November 2, 1999**

**Int. Cl.<sup>6</sup> B06B 1/02**

**Identification Number FI B06B 1/02 K**

**Request for Examination: not made**

**Number of Claims: 9 OL (7 pages in total)**

**Application Number: Hei-10-113369**

**Application Date: April 23, 1998**

**Applicant: 396020800 Kagaku Gijutsu Shinnkou Jigyodan**

**1-8, 4-chome, Hon-machi, Kawaguchi-shi, Saitama-ken**

**Inventor: Hiroyuki Shinoda**

**50-10, Inuyama-machi, Sakae-ku, Yokohama-shi, Kanagawa-ken**

**Agent: Fumihito Hasegawa, Patent Attorney**

**[Title of the Invention] PRESSURE WAVE GENERATOR**

**[Abstract]**

**[Problem]** To provide a pressure wave generator not easily susceptible to influences of external vibration and external pressure, capable of stably generating a pressure wave such as an ultrasonic wave over a wide frequency range, and capable of being easily produced by applying present integrated circuit technology.

**[Means for Solution]** The invention uses pressure wave generation means including a heat generating member thin film that is electrically driven and is deposited on a heat insulating member. A pressure wave is generated by giving electric properties to the heat generating thin film and also imparting

temperature change at a frequency of an ultrasonic wave to the air layer on the surface of the thin film. In the invention, the heat generating member is specially formed into a thin film shape to increase the surface area, a porous layer having an extremely low heat conduction factor is sandwiched between the heat generating member and the substrate is enlarged, and a heat insulating layer is disposed to thermally insulate the heat generating member from the substrate. In this way, the temperature change on the surface of the heat generating member can be increased and efficiency of the ultrasonic wave generation is improved.

**[Claims]**

**[Claim 1]**

A pressure wave generator comprising:  
a substrate;  
a heat insulating layer disposed on the substrate; and  
a heat generating member thin film disposed on the heat insulating layer and driven electrically.

**[Claim 2]**

A pressure wave generator according as defined in claim 1, wherein the heat insulating layer is a porous layer.

**[Claim 3]**

A pressure wave generator according as defined in claim 2, wherein the heat insulating layer is a polymer material.

**[Claim 4]**

A pressure wave generator according as defined in claims 1 through 3,

wherein the heat generating thin film is an insulating thin film.

**[Claim 5]**

A pressure wave generator according as defined in claims 1 through 3, wherein the heat generating thin film is a Peltier element.

**[Claim 6]**

A pressure wave generator comprising:

a semiconductor substrate;

a porous layer disposed on the semiconductor substrate;

a ribbon-like metal thin film deposited onto the porous layer; and

driving signal terminals provided to the ends of the ribbon-like metal thin film;

wherein a pressure wave is generated by using the ribbon-like metal thin film as a heat generating member.

**[Claim 7]**

A pressure wave generator as defined in claim 6, wherein a plurality of ribbon-like metal thin films are disposed, and the ribbon-like metal thin films are arranged with a specific gap between them in one or two dimensions.

**[Claim 8]**

A pressure wave generator as defined in claims 6 and 7, wherein a plurality of protrusions and concavities are formed making ribs on the surface of the semiconductor substrate, and the porous layer and the ribbon-like metal thin film are arranged on the protrusions and concavities.

**[Claim 9]**

Pressure wave generator as defined in claims 6 through 8, wherein the semiconductor substrate and the porous layer are formed of silicon.

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]****[Technical Field to which the Invention Belongs]**

This invention relates to a pressure wave generator for generating a pressure wave by heating a medium such as air and is particularly useful as an ultrasonic wave generator.

**[0002]****[Prior Art]**

Almost all ultrasonic wave generators according to the prior art generate mechanical vibration by means of a piezoelectric effect or a magnetostriction effect. In the case of an ultrasonic wave generator utilizing the piezoelectric effect, for example, the generator uses a vibration generating chip produced by sintering barium titanate into a disc shape and baking electrodes onto both surfaces of the disc, applies an ultrasonic wave frequency electric signal between the electrodes of the chip and generates mechanical vibration. The mechanical vibration thus generated is transmitted to a medium such as air.

**[0003]**

The ultrasonic wave generator utilizing such mechanical vibration is easily susceptible to influences of external vibrations and changes in surrounding air pressure. In addition, because the generator has its own resonance frequency, it is difficult to generate ultrasonic waves over a wide frequency range. The vibration generating chip can be produced only as a discrete product because it is difficult to integrate into an integrated circuit, the circuit of the vibration generating chip not easily made compact.

**[0004]**

**[Problems that the Invention is to Solve]**

The invention provides a pressure wave generator that is not easily susceptible to external vibration changes of and surrounding air pressure, can stably generate a pressure wave such as an ultrasonic wave over a broad frequency range, and can be easily produced by applying present integrated circuit technology.

[0005]

**[Means for Solving the Problems]**

The invention solves the problems by using pressure wave generating means formed by depositing a heat generating thin film which can be driven electrically onto a heat insulating layer. To thermally generate the ultrasonic wave, it may be possible in principle to impart temperature change at a frequency of an ultrasonic wave to a surface air layer by using a heat generating member driven electrically and thus generate a pressure wave. Generally, however, it is not possible to create a great temperature change on the surface of the heat generating member due to the heat capacity of the heat generating member itself and the heat capacity of the substrate to which the heat generating member is fitted, and due also to the heat transfer factor of the substrate, and thus ultrasonic wave generation efficiency is very low. Therefore, the invention shapes the heat generating member into a thin film form to secure a large surface area and thermally insulates the heat generating member from the substrate by sandwiching a porous layer or polymer layer having an extremely low heat transfer factor between the heat generating member and the substrate so that the temperature change on the surface of the heat generating member can become large and generation efficiency of the ultrasonic wave can be improved.

**[0006]**

The ultrasonic pressure wave generator according to the invention has the following features not found in the ultrasonic wave generators of the prior art using mechanical vibration.

- a. Frequency band is broad and generation power is high.

**[0007]**

- b. The ultrasonic pressure generator does not have any structure weak against surrounding air pressure fluctuation.

- c. The ultrasonic wave pressure generator can be produced by applying present semiconductor integrated circuit technology including the steps of obtaining relatively easily a precise ultrasonic wave array by utilizing silicon fine processing technology and integrating this array with peripheral circuits.

**[0008]**

The pressure wave generator according to the invention has the following construction.

- (1) The pressure wave generator includes a substrate, a porous layer arranged on the substrate and a heat generating thin film deposited onto the porous layer and which is electrically driven.
- (2) In the construction described in (1), the heat generating thin film is an insulating thin film.
- (3) In the construction described in (1), the heat generating member thin film is a Peltier element.
- (4) The pressure wave generator includes a semiconductor substrate, a porous layer deposited onto the semiconductor substrate, a ribbon-like metal thin film deposited onto the porous layer and a driving signal terminal provided to each

end of the ribbon-like metal thin film, wherein the ultrasonic wave is generated by using the ribbon-like metal thin film as the heat generating member.

(5) In the construction described in (4), a plurality of ribbon-like metal thin films is provided and the ribbon-like metal thin films is arranged with a specific gap between them, either one dimensionally or two dimensionally.

(6) In the construction described in (4) and (5), a plurality of protrusions and concavities are formed, making ribs on the surface of the semiconductor substrate, and the porous layer and the ribbon-like metal thin film are arranged on the protrusions and convexities.

(7) In the construction described in (4) through (6), the semiconductor substrate and the porous layer are formed of silicon.

[0009]

Fig. 1 shows a basic construction of the pressure wave generator according to the invention by a typical method, wherein Fig. 1(a) is a sectional view of the pressure generator and Fig. 1(b) is its top view. In Figs. 1(a) and 1(b), reference numeral 1 denotes a substrate of silicon (Si), or the like, reference numeral 2 denotes a heat insulating layer formed of porous silicon (Po-Si) or a polymer material film formed on the substrate, reference numeral 3 denotes a heat generating member thin film such as aluminum (Al) deposited onto the heat insulating layer 2, reference numerals 4 and 5 denote signal terminals connected to the end portions of the heat generating member thin film 3 and reference numeral 6 denotes a signal source for generating driving signals of an ultrasonic frequency.

[0010]

The heat generating member thin film 3 is constituted by an electric

resistance member generating joule heat or a Peltier element causing heat generation/heat absorption by the Peltier effect, and is driven by the signal source 6 via the signal terminals 4 and 5. Incidentally, the signal generated from the signal source 6 is a combination of an AC component and a DC component so that it has either positive or negative polarity.

[0011]

The heat insulating layer 2 having a low heat transfer factor is sandwiched between the heat generating member thin film 3 and the substrate 1 as shown in Fig. 1(a) and the heat flow loss from the heat generating member thin film 3 to the substrate 1 can thus be suppressed to a lower level than when the heat insulating layer 2 does not exist. In consequence, the temperature change created in the heat generating member thin film 3 by a given signal driving the heat generating member thin film 3 is greater, and pressure wave energy transmitted to the air layer in contact with the surface of the heat generating member thin film 3 becomes great, too.

[0012]

Next, the operation principle of the pressure wave generator according to the invention will be explained.

#### Temperature change on solid surface

As shown in Fig. 2(a), the change of the surface temperature of a solid made of a certain material when the heat generating member thin film is sufficiently thin is given by the following formula  $T(\omega)$  where the heat conduction factor of the solid is  $\alpha$ , heat capacity per unit volume is  $C$  and angular frequency is  $\omega$  provided that input/output of energy  $q(\omega)[\text{W}/\text{cm}^2]$  exists:

[0013]



[Formula 1]

[0014]

Therefore, the change of the surface temperature of the solid with a given change in energy becomes greater when a material having a smaller  $\alpha C$  value is used for the solid. Referring to Fig. 2(b), when the thickness of the solid having a heat conduction factor  $\alpha$  and a heat capacity  $C$  per unit volume is  $x = l$  and another material having sufficiently greater heat conduction factor and greater heat capacity than  $\alpha$  and  $C$  exists in the region  $x > l$ , the thickness expressed as:

[0015]

[Formula 2]

[0016]

or around causes, only the DC component is allowed to effectively escape while the AC component of heat generation is left as such (details omitted).

#### Generation of sound from temperature change

When any temperature change occurs on the solid surface, the thickness of the air layer corresponding temperature change is given approximately by:

[0017]

[Formula 3]

[0018]

When this value is calculated for air,  $d = 7.6 \mu\text{m}$  at 100 kHz and is inversely proportional to the root of the frequency. Therefore, the value does not become

an extremely small value. Assuming that the temperature of an air layer having a thickness  $h$  is forcedly changed to  $T(\omega)$  as shown in Fig. 3, a progressive sound wave having an intensity expressed as:

[0019]

[Formula 4]

[0020]

occurs in air. In this equation,  $k$  is the wave number of a plane wave corresponding to the frequency. When  $\lambda$  is a wavelength of the sound wave and is set to  $h \approx \lambda/(4\sqrt{\gamma})$ , this makes  $p(\omega) = P_0 T(\omega)/T_0$  so that a temperature amplitude of 1 K, for example, generates a sound wave of 300 Pa (with the proviso that  $\gamma = 1.4$ ).

[0021]

[Embodiment of the Invention]

It is well known that according to the fundamental equation of heat conduction, when the size scale of a structure in general is reduced to  $1/n$ , the speed of a heat conduction phenomenon becomes increases about  $n^2$  times and the total energy necessary for obtaining a predetermined temperature is reduced to  $1/n$ . Therefore, when the frequency of the ultrasonic wave to be generated becomes higher, it becomes more advantageous to reduce the device size of the ultrasonic wave generator. To achieve this end, fine processing on the order of  $\mu\text{m}$  to  $\text{nm}$  and other technologies are necessary but most of them can be readily achieved by utilizing existing semiconductor integrated circuit production technology.

[0022]

In the case of the heat insulating layer sandwiched between the heat generating member thin film and the substrate, for example, it is necessary to drastically reduce the heat conduction factor and its heat capacity  $C$  per unit volume as described with reference to the formula (1) and this can be accomplished by rendering the silicon surface porous by a large number of pores in the nm order to a depth expressed as:

[0023]

[Formula 5]

[0024]

or more. Such a porous layer is called "porous silicon" and is obtained by electro-chemically etching single crystal silicon in a hydrofluoric acid solution. The pore density and the depth of the porous layer are controlled by the voltage and the time elapsed.

[0025]

The heat conduction factor  $\alpha$  and the heat capacity  $C$  per unit area of typical porous silicon are as follows.  $\alpha C$  is about 1/400 that of crystalline silicon. Here,  $L$  is 2  $\mu\text{m}$  for 100 kHz.

[0026]

[Table 1]

	[W/m/K]	C [ $10^6\text{J/K/m}^3$ ]
crystalline silicon	168	1.67
porous silicon	1	0.7

[0027]

Fig. 4(a) shows an example of the device and a mechanism for measuring

the sound pressure generated. In the drawing, a porous layer (porous silicon) 8 having a thickness of 10 to 50  $\mu\text{m}$  is formed on the surface of a planar single crystal silicon substrate 7 having a thickness of 1 mm, and an aluminum thin film 9 used here as the heat generating member for generating Joule heat at ultrasonic wave frequency is vacuum deposited to a thickness of 30 nm onto the porous layer 8.

[0028]

An acrylic cover 11 having a microphone 10 at its center is fitted to the surface of the device so fabricated and a thin sealed air layer of 0.1 mm is formed to conduct sound pressure measurement. Fig. 4(b) shows amplitude [Pa] of the fluctuation of sound pressure observed at various frequencies [kHz] when an input voltage of  $1.0 \times 10^{-3}$  [W/cm<sup>2</sup>] is applied, in the devices in which the porous layers 8 respectively have thickness of 10  $\mu\text{m}$ , 25  $\mu\text{m}$  and 50  $\mu\text{m}$ . The resulting sound pressure tends to be in inverse proportion to the root of the frequency.

[0029]

Fig. 5 shows an embodiment of the device in which the surface of the heat generating member is shaped into ribs. In the drawing, a plurality of ribs 13 is equidistantly formed on the silicon substrate 12. Each rib 13 is covered with a porous layer 14 and an aluminum thin film 15 used as the heat generating member is vacuum deposited on the entire surface of the porous layer 14.

[0030]

As described above, the thickness of the air layer which is affected by change in the temperature of the solid surface is given by:

[0031]

[Formula 6]

[0032]

so that  $d = 7.6 \mu\text{m}$  for 100 KHz. Since this  $d$  value is inversely proportional to the root of the frequency, air inside the gap at a frequency of 100 KHz or below can be changed in the same way as the solid surface temperature, that is, in the same way as the Joule heat generation temperature of the aluminum thin film 15 provided that the heat generating member has the rib structure and the gap  $g$  among the ribs is set to about  $15 \mu\text{m}$  as shown in Fig. 5. The aluminum thin film 15 is electrically continuous throughout the ribs 13 and is driven by the signal from the signal source 16 connected to the ribs 13 at the two end portions to generate the Joule heat. The magnitude of power consumption of the aluminum thin film 15 depends at this time on the resistance value of the aluminum thin film 15 and the signal voltage of the signal source 16. The resistance value of the aluminum thin film 15 can be set to a desired value by changing its vacuum deposition thickness.

[0033]

The relation between consumed power and the output sound pressure in the device having the rib-like structure shown in Fig. 5 can be calculated directly from the formulas (1) and (2). When the silicon surface is the porous silicon used for the following experiment, the temperature fluctuation amplitude where Joule heat generation is  $1 \text{ W/cm}^2$  is  $1.5 \times 10^{-2} \text{ [K]}$  for 100 KHz and this value is equivalent to 5 Pa (105 dB) of sound pressure fluctuation amplitude. Incidentally, when the height  $h$  of the rib is  $h = 700 \mu\text{m}$  and the thickness  $s$  of the silicon which is the core of the rib is  $10 \mu\text{m}$ , the temperature at the distal end portion of the gap rises by about 2 K.

[0034]

Fig. 6 shows the relation between the gap width and the attenuation distance (distance at which amplitude is reduced to  $1/e$ ) when the sound wave travels through a narrow gap. When the air layer is  $10\text{ }\mu\text{m}$  thick, the viscosity loss during the passage through the gap is not large when the frequency is set to 1,000 KHz or about  $1/4$  the wavelength of the ultrasonic wave.

[0035]

It is also possible to utilize heat generation/heat absorption by the Peltier element used as the heat generating member in place of the Joule heat shown in Fig. 5. Fig. 7 shows an embodiment having the rib-like structure in which a Peltier element is formed in each rib.

[0036]

In Fig. 7, a p type porous silicon layer (Po Si (p)) 17 and an n type porous silicon layer (Po Si (n)) 18 are formed in parallel in the vertical direction on both sides of each rib 13, and the aluminum thin film 19 is vacuum deposited onto the silicon layers.

[0037]

In the Peltier element, the metal electrode is deprived of heat energy and is cooled at the junction between the n type semiconductor and the metal electrode, when electrons migrate from the metal electrode to the n type semiconductor. When electrons migrate from the n type semiconductor to the metal electrode, conversely, the n type semiconductor is deprived of heat energy by the metal electrode and heat is generated on the metal electrode. A similar phenomenon occurs during the movement of positive holes between the p type semiconductor and the metal electrode, too, and heat energy is carried in the direction of the

positive holes. In Fig. 7, when the voltage is applied between the p type porous silicon layer 17 and the n type porous silicon layer 18 in the direction whereby the p type porous silicon layer 17 acquires the higher potential, the current flows from the p type porous silicon layer 17 to the n type porous silicon layer 18 through the aluminum thin film 19. As a result, heat generation occurs in the areas where the aluminum thin film 19 keeps contact with both the p type porous silicon layer 17 and the n type porous silicon layer 18. However, since heat absorption occurs at the points at which the voltage is applied to the p type porous silicon layer 17 and the n type porous silicon layer 18, this voltage application point must be arranged at a position spaced apart from the rib structure.

[0038]

An ultrasonic wave array can be constituted by arranging one- or two-dimensionally the devices having the rib structure in Fig. 5 or 7. Fig. 8 shows a structural example of the ultrasonic wave array.

[0039]

In Fig. 8, devices 21-1 to 21-9 are equidistantly arranged 3 x 3 on the substrate 20. Each device 21-1 to 21-9 is connected to a respective signal line 22. An ultrasonic wave beam having sharp directivity can be generated in a desired direction by appropriately setting the driving timing of each device. Alternatively, a strong sound field can be generated by driving each device with the same timing to generate waves in a sealed space narrower than the wavelength as shown in Fig. 3(a).

[0040]

Incidentally, in the embodiments described above, the heat insulating layer

disposed below the heat generating member uses the porous layer of porous silicon or the like, but other materials having a low heat transfer factor such as a polymer material can be used, too.

[0041]

**[Effect of the Invention]**

The pressure wave generator according to the invention generates a sound wave without using the mechanical vibration generating means of the ultrasonic wave generators of the prior art. Therefore, the pressure wave generator of the invention is not easily susceptible to the influences of external vibration or changes of surrounding air pressure, and can generate ultrasonic waves over a wide frequency range.

[0042]

Furthermore, present integrated circuit technology can be easily utilized to manufacture the pressure wave generator of the invention, and peripheral circuits of the sound wave generating device, for example, can be formed on the silicon substrate. Consequently, the whole system can be fabricated compactly and economically.

**[Brief Description of the Drawings]**

[Fig. 1] Fig. 1 is an explanatory view showing a basic construction of a pressure wave generator according to the invention.

[Fig. 2] Fig. 2 is an explanatory view of thermal conductivity of a solid, its heat capacity, and surface temperature change.

[Fig. 3] Fig. 3 is an explanatory view of generation of a sound wave by heat.

[Fig. 4] Fig. 4 is an explanatory view showing an example of a device and measurement of sound pressure generated.



**[Fig. 5]** Fig. 5 is an explanatory view showing an embodiment in which a surface of a heat generating member is shaped into ribs.

**[Fig. 6]** Fig. 6 is a graph showing the relation between gap width and a sound wave traveling through the gap.

**[Fig. 7]** Fig. 7 is an explanatory view showing the configuration of an embodiment device using a Peltier element.

**[Fig. 8]** Fig. 8 is an explanatory view showing a structural example of an ultrasonic wave array.

**[Description of Reference Numerals]**

- 1:** substrate
- 2:** heat insulating layer
- 3:** heat generating member thin film
- 4, 5:** signal terminal
- 6:** signal source

**Fig. 1: Basic construction of pressure wave generator according to the invention**

**(a) sectional view**

**3: heat generating member thin film**

**2: heat insulating layer**

**1: substrate**

**(b) top view**

**4: signal terminal**

**5: signal terminal**

**6: signal source**

**Fig. 2: Heat conductivity, heat capacity and surface temperature change of the solid**

**1: air**

**2: solid**

**Fig. 3: Generation of sound wave by heat**

**1: sound wave**

**2: air**

**Fig. 4: Example of device and measurement of resulting sound pressure**

**(a) device cross section and sound pressure measurement configuration**

**10: microphone**

**11: acrylic cover**

**9: aluminum thin film**

8: porous layer

7: single crystal silicon substrate

(b) relation between thickness of porous layer and resulting sound pressure

縦 : sound pressure fluctuation amplitude

横 : frequency

**Fig. 5: Embodiment of device in which heat generating member surface is shaped into ribs**

12: silicon substrate

13: rib

14: porous layer

15: aluminum thin film

16: signal source

12: silicon substrate

C: current

**Fig. 6: Relation between gap width and traveling sound through the gap pressure**

縦 : attenuation distance

横 : gap

**Fig. 7: Embodiment of device using Peltier element**

**Fig. 8: Structural example of ultrasonic wave array**

**20: substrate**

**22: signal line**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-300274

(43) 公開日 平成11年(1999)11月2日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
B 0 6 B 1/02

識別記号

F I  
B 0 6 B 1/02

K

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-113369

(22) 出願日 平成10年(1998)4月23日

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 藤田 裕之

神奈川県横浜市長区犬山町50-10

(74) 代理人 弁理士 長谷川 文廣

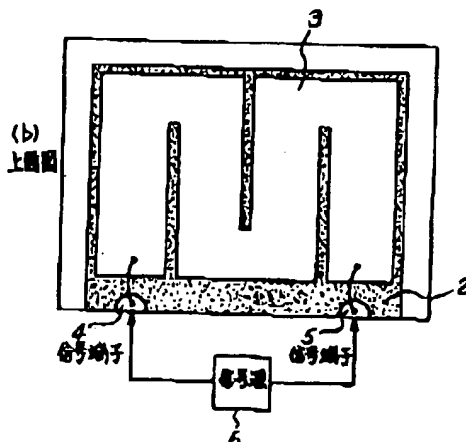
(54) 【発明の名称】 圧力波発生装置

(57) 【要約】

【課題】 外からの振動や外気圧の影響を受けにくく、広い周波数範囲で安定に超音波などの圧力波を発生することができ、かつ集積回路技術を用いての製造が容易な圧力波発生装置を提供することにある。

【解決手段】 本発明は、電気的に駆動される発熱体薄膜を熱絶縁上に被着された圧力波発生手段を用いる。発熱体薄膜を電気的にして表面の空気層に超音波周期の温度変化を与え、圧力波を生じさせる。特に本発明では発熱体を薄膜状に形成して表面積を大きくするとともに、発熱体と基板との間に熱伝導率のきわめて小さい多孔質層を大きくするとともに、熱絶縁層を設けて発熱体を基板から熱的に絶縁することにより、発熱体表面の温度変化が大きくなるようにして、超音波発生効率を向上させている。

本発明による圧力波発生装置の基本的構造



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、基板上に設けられた熱絶縁層と、熱絶縁層上に設けられて電気的に駆動される発熱体薄膜とからなることを特徴とする圧力波発生装置。

【請求項2】 請求項1において、熱絶縁層は多孔質層であることを特徴とする圧力波発生装置。

【請求項3】 請求項2において、熱絶縁層は高分子材料層であることを特徴とする圧力波発生装置。

【請求項4】 請求項1ないし請求項3において、発熱体薄膜は電気抵抗体薄膜であることを特徴とする圧力波発生装置。

【請求項5】 請求項1ないし請求項3において、発熱体薄膜はペルチエ素子であることを特徴とする圧力波発生装置。

【請求項6】 半導体基板と、半導体基板上に形成された多孔質層と、多孔質層上に被着されたリボン状金属薄膜と、リボン状金属薄膜の各端部に設けられた駆動信号端子とを備え、リボン状金属薄膜を発熱体として圧力波を発生することを特徴とする圧力波発生装置。

【請求項7】 請求項6において、リボン状金属薄膜は複数個備えられ、各リボン状金属薄膜は一次元状あるいは二次元状に一定間隔で配列されていることを特徴とする圧力波発生装置。

【請求項8】 請求項6および請求項7において、半導体基板の表面に膜状に複数個の凹凸が形成されており、その上に多孔質層とリボン状金属薄膜とが設けられていることを特徴とする圧力波発生装置。

【請求項9】 請求項6ないし請求項8において、半導体基板および多孔質層はシリコンでつくられていることを特徴とする圧力波発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、空気などの媒体を加熱して圧力波を発生させる圧力波発生装置に関するものであり、特に超音波発生装置として有用なものである。

【0002】

【従来の技術】従来の超音波発生装置のほとんどは、圧電効果や磁歪効果により機械的振動を発生させるものである。たとえば圧電効果を利用した超音波発生装置の場合は、たとえば円板状にチタン酸バリウムを焼結して両面に電極を焼付けた構造の振動発生素子を用い、素子の電極間に超音波電気信号を印加することにより、機械的振動を発生させる。発生した機械的振動は、空気などの媒質に伝達される。

【0003】このような機械的振動を利用する従来の超音波発生装置は、外部からの振動や外気圧の変動の影響を受けやすく、また固有の共振周波数をもつために、発生する超音波の周波数範囲を広くとることが困難であった。また集積回路技術がなじまないため、振動発生素子

(2)

特開平11-300274

2

は単品でしか製造できず、回路のコンパクト化が困難であった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、外からの振動や外気圧の変動の影響を受けにくく、広い周波数範囲で安定に超音波などの圧力波を発生することができ、かつ集積回路技術を適用しての製造が容易な圧力波発生装置を提供するものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、電気的に駆動される発熱体薄膜を熱絶縁層上に被着された圧力波発生手段を用いることで課題の解決を図るものである。熱的に超音波を発生するには、電気的に駆動される発熱体を用いて表面の空気層に超音波周期の温度変化を与え、圧力波を生じさせればよい。しかし通常は、発熱体自体と発熱体を取り付ける基板の熱容量、および基板の熱伝導率のために発熱体表面の温度変化を大きくすることができず、超音波発生効率はかなり低いものとなる。そのため本発明は、発熱体を薄膜状に形成して表面積を大きくするとともに、発熱体と基板との間に熱伝導率のきわめて小さい多孔質層や高分子層などの熱絶縁層を設けて発熱体を基板から熱的に絶縁することにより、発熱体表面の温度変化が大きくなるようにして、超音波発生効率を向上させている。

【0006】本発明の圧力波発生装置は、従来の機械振動を用いる超音波発生装置に対して、次のような特長をもっている。

a. 広帯域で強力であること。

30 【0007】b. 外気圧変動等に対して弱い構造を一切もたないこと。

c. シリコン微細加工の技術によって比較的容易に精密な超音波アレイが得られ、その他周辺回路との一体化など、半導体集積回路の技術を適用して製造することができること。

【0008】本発明の圧力波発生装置は、以下のような構成を有する。

(1) 基板と、基板上に設けられた多孔質層と、多孔質層上に設けられて電気的に駆動される発熱体薄膜とからなること。

40 (2) 前項(1)において、発熱体薄膜は電気抵抗体薄膜であること。

(3) 前項(1)において、発熱体薄膜はペルチエ素子であること。

(4) 半導体基板と、半導体基板上に形成された多孔質層と、多孔質層上に被着されたリボン状金属薄膜と、リボン状金属薄膜の各端部に設けられた駆動信号端子とを備え、リボン状金属薄膜を発熱体として超音波を発生すること。

(5) 前項(4)において、リボン状金属薄膜は複数個備えられ、各リボン状金属薄膜は一次元状あるいは二次

3

元状に一定間隔で配列されていること。

(8) 前項(4)および(5)において、半導体基板の表面に環状に複数個の凹凸が形成されており、その上に多孔質層とリボン状金属薄膜とが設けられていること。

(7) 前項(4)ないし(6)において、半導体基板および多孔質層はシリコンでつくられていること。

【0009】図1は、本発明による圧力波発生装置の基本的な構造を例示的方法で示す図であり、図1の(a)は装置の断面図、(b)は装置の上面図である。図1の(a)、(b)において、1はシリコン(Si)などの基板、2は基板1上に形成されたポーラスシリコン(Po-Si)や高分子材料膜などの熱絶縁層、3は熱絶縁層2上に被着されたアルミニウム(Al)などの発熱体薄膜、4、5は発熱体薄膜3の各端部に接続された信号端子、6は駆動用の超音波周波数の信号を発生する信号源である。

【0010】発熱体薄膜3は、ジュール熱を発生する電気抵抗体あるいはペルチエ効果による発熱/吸熱を行うペルチエ素子で構成され、信号端子4、5を介して信号源6により駆動される。なお、信号源6から発生される信号は、正負いずれか一方の極性となるように、交流成分

$$T(\omega) = \frac{1-j}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{\omega \alpha C}} q(\omega) \quad (1)$$

【0014】したがって固体の材質としては $\alpha C$ が小さい材料ほど同じエネルギーの授受に対する表面温度の変化が大きくなる。ここで図2の(b)に示すように、熱伝導度 $\alpha$ 、体積あたりの熱容量 $C$ をもつ固体の厚さを $x=1$ とし、 $x>1$ の領域に $\alpha$ 、 $C$ よりも十分に大きな熱伝導度と熱容量をもつ別の材料が存在する場合には、

【0015】

【数2】

$$1 = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega C}}$$

【0016】程度にとると、発熱の交流成分はそのままにして、直流成分のみを効果的に逃がすことができる(詳細は省略)。

温度変化からの音の発生

※

$$|P(\omega)| = \frac{P_0}{|1-j\cot(\sqrt{\gamma}kh)/\sqrt{\gamma}|} \frac{|T(\omega)|}{T_0} \quad (2)$$

【0020】なる強度の進行音波が発生する。 $k$ は周波数に対応する平面波の波数である。 $\lambda$ を音波の波長として、 $h=\lambda/(4\sqrt{\gamma})$ に設定すれば $p(\omega)=P_0 T(\omega)/T_0$ となり、例えば1Kの温度振幅は300Paの音波を発生する(ただし $\gamma=1.4$ とする)。

【0021】

【発明の実施の形態】熱伝導の基本方程式によると、

(3)

特開平11-300274

4

\* 分と直流成分を合成したものである。

【0011】図1の(a)に示されるように、発熱体薄膜3と基板1の間には熱伝導度の小さい熱絶縁層2が設けられているので、熱絶縁層2が存在しない場合に比べて発熱体薄膜3から基板1への熱の流失は小さく抑えられる。このため、発熱体薄膜3を駆動する信号のパワーに対して発熱体薄膜3に生じる温度変化が大きくなり、発熱体薄膜3の表面に接する空気層に伝達される圧力波エネルギーも大きくなる。

【0012】次に、本発明による圧力波発生装置の動作原理を説明する。

固体表面の温度変化

図2の(a)に示すように、ある材料でできた固体の表面に被着された発熱体薄膜が十分に薄くされているときの固体の表面温度の変化は、固体の熱伝導度を $\alpha$ 、体積あたりの熱容量を $C$ 、角周波数を $\omega$ として、単位面積あたりのエネルギーの出入り $q(\omega)$  [W/cm<sup>2</sup>]があったとき、次式の $T(\omega)$ で与えられる。

【0013】

【数1】

※ 固体表面に温度変化があったとき、それに追従して温度変化する空気層の厚みは

【0017】

【数3】

$$d = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega C}}$$

【0018】程度である。空気に対してこの値を計算すると、100kHzにおいて $d=7.6\mu\text{m}$ になり、周波数の平方根に反比例するから極端に小さな値にはならない。また図3に示すように、厚さ $h$ の空気層の温度が強制的に $T(\omega)$ のように変化させられたとすると、空気中には

【0019】

【数4】

般に構造のスケールが $1/n$ になると現象は $n^4$ 倍高速になり、所定の温度を得るためのエネルギーの総量は $1/n$ になることはよく知られている。したがって発生しようとする超音波の周波数が高くなるほど、超音波発生装置のデバイスサイズは、小さいことが有利となる。しかしそれには $\mu\text{m}-\text{nm}$ オーダーの微細加工その他の技術が必要となるが、その多くは従来の半導体集積回路製

50

(4)

特開平11-300274

5

造技術を利用することによって容易に解決可能である。

【0022】たとえば発熱体薄膜と基板との間に設けられる熱絶縁層は、(1)式で述べたように、その熱伝導度 $\alpha$ と体積当たりの熱容量 $C$ をきわめて小さくする必要があるが、これはたとえばシリコン表面を、

【0023】

【数5】

$$L = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega C}}$$

【0024】以上の深さまで $n$ mオーダーの多数の孔で\*

\*多孔質化することで実現できる。このような多孔質層はポーラスシリコンと呼ばれ、単結晶シリコンをフッ酸溶液中で電気化学エッチングすることによって得られる。孔の密度、多孔質層の深さは、そのときの電圧と時間によって制御される。

【0025】典型的なポーラスシリコンの熱伝導率 $\alpha$ 、体積当たりの熱容量 $C$ は以下のものであり、 $\alpha C$ は結晶シリコンに比べ約1/400である。またこのときの $L$ は100kHzにおいて2 $\mu$ mである。

10 【0026】

【表1】

	$\alpha$ [W/m/K]	$C$ [ $10^3$ J/K/m $^3$ ]
結晶シリコン	168	1.87
ポーラスシリコン	1	0.7

【0027】図4の(a)は、デバイスの1例と発生音圧の測定構造を示す。図において1mm厚の平面状の単結晶シリコン基板7の表面には、10~50 $\mu$ m厚の多孔質層(ポーラスシリコン)8が形成され、その上に超音波周波数でジュール熱を発生する発熱体としてアルミニウム薄膜9が30nm厚に蒸着されている。

【0028】このようにして作られたデバイスの表面に、中央部にマイクロホン10をもつアクリルカバー11を取り付け、0.1mm厚の薄い密閉空気層を形成して音圧測定を行った。図4の(b)は、多孔質層8の厚みが10 $\mu$ m、25 $\mu$ m、50 $\mu$ mの各デバイスについて、 $1.0 \times 10^{-3}$  [W/cm $^2$ ]の入力電力を与えたときに観測された周波数[kHz]に対する発生音圧の振幅[P $_a$ ]を示している。発生音圧は、周波数の平方根に反比例する傾向を示す。

【0029】図5は、発熱体面をひだ(皺)状に形成したデバイスの実施の形態を示す。図において、シリコン基板12には等間隔に複数のひだ13が形成されている。各ひだ13は多孔質層14で覆われ、それらの全表面に発熱体となるアルミニウム薄膜15が蒸着されている。

【0030】前述したように、固体表面の温度変化に追隨できる空気層の厚みは

【0031】

【数6】

$$d = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega C}}$$

【0032】で与えられ、100kHzでは $d=7.6\mu$ mとなる。この $d$ の値は、周波数の平方根に反比例するので、図5のように発熱体をひだ(皺)構造にし、ひだ間のギャップ $g$ を15 $\mu$ m程度の大きさにしておけば、100kHz以下の周波数においてギャップ内の空気を

固体表面温度、つまりアルミニウム薄膜15のジュール発熱温度と同じように変化させることができる。アルミニウム薄膜15は各ひだ13に亘って電気的に連続しており、両端部のひだ13に接続される信号源16からの信号により駆動されてジュール熱を発生する。このときのアルミニウム薄膜15の消費電力の大きさは、アルミニウム薄膜15の抵抗値と信号源16の信号電圧に依存している。アルミニウム薄膜15の抵抗値は、蒸着厚さを変えることにより、所望の値に設定することができる。

【0033】図5に示すひだ状構造をもつデバイスにおける消費電力と出力音圧の関係は(1)および(2)式からそのまま計算される。シリコン表面を以下の実験を用いたポーラスシリコンにした場合、1W/cm $^2$ のジュール発熱に対する温度振幅は100kHzにおいて $1.5 \times 10^{-1}$  [K]となり、音圧振幅に換算すると5Pa(105dB)になる。なお、ひだの高さ $h=700\mu$ m、ひだの芯となるシリコン領域の厚み $s=10\mu$ mとすれば、そのときギャップ先端部分の温度は2K程度上昇する。

【0034】また狭いギャップを音波が進行する際のギャップ幅と減衰距離(振幅が1/eになる距離)との関係は図6に示され、空気層の厚さを10 $\mu$ mとすると1000kHz、超音波の4分の1波長程度に設定する場合、そのギャップを進行する際の粘性損失は大きくない。

【0035】発熱体として、図5のようにジュール熱を利用する代わりに、ペルチエ素子による発熱/吸熱を利用することも可能である。図7は、各ひだにペルチエ素子を形成したひだ状構造をもつ実施の形態を示す。

【0036】図7において、各ひだ13の両側にそれぞれp型ポーラスシリコン層(PoSi(p))17とn型ポーラスシリコン層(PoSi(n))18とを上下

50



7

並行に形成し、その上にアルミニウム薄膜19を蒸着する。

【0037】ベルチエ素子では、n型半導体と金属電極との接点部分において、金属電極からn型半導体へ電子が移動するとき金属電極から熱エネルギーがうばわれて金属電極は冷却し、また逆に電子がn型半導体から金属電極へ移動するときはn型半導体から金属電極へ熱エネルギーが運ばれて金属電極で発熱が生じる。同様な現象は、p型半導体と金属電極との間の正孔の移動でも生じ、熱エネルギーは正孔の移動する方向に運ばれる。したがって、図7においてp型ボラスシリコン層17とn型ボラスシリコン層18との間に、p型ボラスシリコン層17側が高電位となる向きに電圧を印加すると、p型ボラスシリコン層17からアルミニウム薄膜19を通り、n型ボラスシリコン層18へ向かって電流が流れる。その結果、アルミニウム薄膜19がp型ボラスシリコン層17およびn型ボラスシリコン層18と夫々接触している領域で発熱が生じる。しかし、p型ボラスシリコン層17とn型ボラスシリコン層18に電圧を印加するポイントでは、吸熱が発生するので、この電圧印加ポイントはひだ構造から離れた位置に設ける必要がある。

【0038】図6あるいは図7に示すようなひだ構造をもつデバイスを一次元状あるいは二次元状に配置して、超音波アレイを構成することができる。図8は、超音波アレイの構成例を示す。

【0039】図8において、基板20上は、3×3のデバイス21-1～21-9が等間隔で配置されている各デバイス21-1～21-9はそれぞれ、信号線22に接続されており、各デバイスへの駆動タンミングを適切に設定することにより、任意の方向に対して鋭い指向性をもつ超音波ビームを発生することができ、あるいは図3(a)のように波長よりも狭い密閉空間に対して各デバイスを同一タンミングで駆動することにより、強力な音場を生成することができる。

【0040】なお、以上述べた実施の形態では、発熱体\*

(5)

特開平11-300274

8

\*の下層に設ける熱絶縁層としてボラスシリコンなどの多孔質層が用いられているが、他の熱伝導度の低い材料、たとえば高分子材料を用いることも可能である。

【0041】

【発明の効果】本発明の圧力波発生装置は、従来の超音波発生装置のような機械的な振動発生手段を用いずに音波を発生させるため、外部からの振動や外気圧の変動の影響を受けにくく、また超音波の発生周波数の範囲を広くとることが可能である。

【0042】さらに本発明装置では集積回路技術の利用が容易であり、たとえばシリコン基板上に音波発生デバイスの周辺回路も形成することができるので、同一基板上にこの音波発生デバイスの周辺回路も形成することが可能であり、システム全体をコンパクトで且つ安価につくることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による圧力波発生装置の基本的構造を示す説明図である。

【図2】固体の熱伝導率および熱容量と表面温度変化の説明図である。

【図3】熱による音波の発生の説明図である。

【図4】デバイスの1例と発生音圧の測定例を示す説明図である。

【図5】発熱体面をひだ状に形成した実施の形態を示す説明図である。

【図6】ギャップ幅とそこを進行する音波の関係を示すグラフである。

【図7】ベルチエ素子を用いたデバイスの実施の形態を示す説明図である。

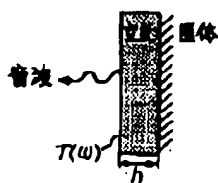
【図8】超音波アレイの構成例を示す説明図である。

【符号の説明】

- 1：基板
- 2：熱絶縁層
- 3：発熱体薄膜
- 4、5：信号端子
- 6：信号源

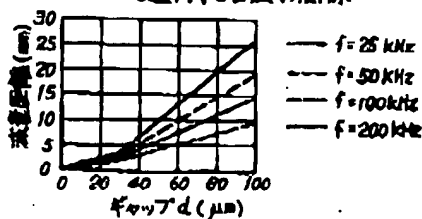
【図3】

### 熱による音波の発生



【図6】

### ギャップの幅とそこを進行する音波の関係

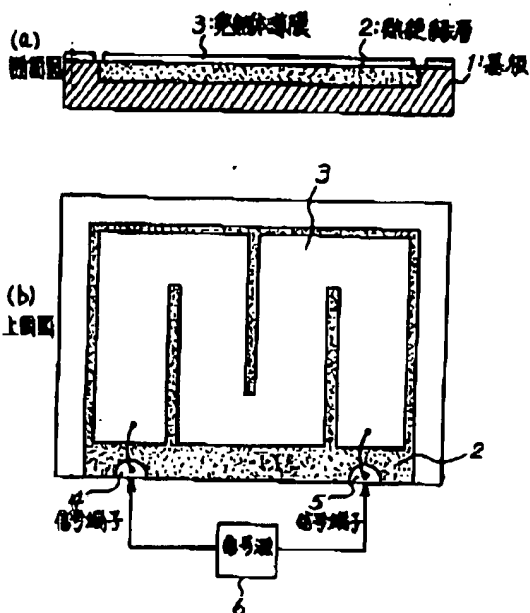


(6)

特開平11-300274

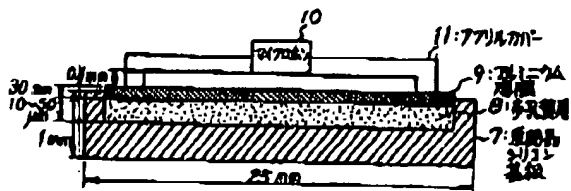
【図1】

本発明による圧力波発生装置の基本的構造

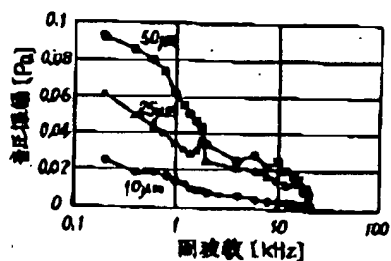


【図4】

デバイスの1例と発生音圧の測定例



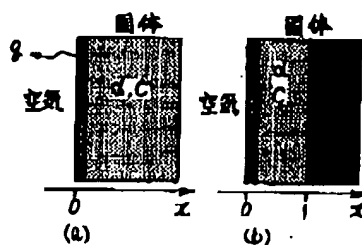
(a) デバイス断面と音圧測定構造



(b) 多孔質層の厚みと発生音圧の関係

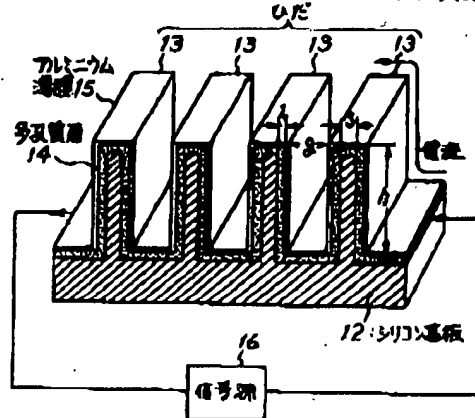
【図2】

固体の熱伝導率および熱容量と表面温度変化



【図5】

発熱体面をひだ状に形成したデバイスの実施の形態



【図7】

ペルチエ素子を用いたデバイスの実施の形態



(7)

特開平11-300274

【図8】

超音波アレイの構成例

